

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
3 juillet 2003 (03.07.2003)

PCT

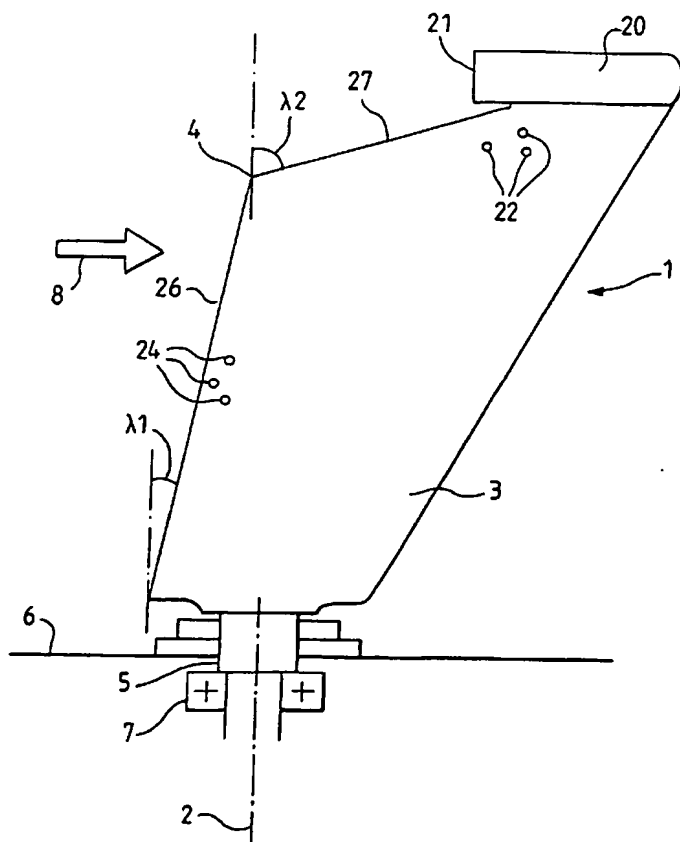
(10) Numéro de publication internationale  
WO 03/054557 A2

- (51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> : G01P 5/00 (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : THALES [FR/FR]; 173, boulevard Haussmann, F-75008 Paris (FR).
- (21) Numéro de la demande internationale : PCT/FR02/04347 (72) Inventeurs; et (75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : COLLOT, Lionel [FR/FR]; Thales Intellectual Property, 13, av. du Prés. Salvador Allende, F-94117 Arcueil Cedex (FR). HANSON, Nicolas [FR/FR]; Thales Intellectual Property, 13, av. du Prés. Salvador Allende, F-94117 Arcueil Cedex (FR).
- (22) Date de dépôt international : 13 décembre 2002 (13.12.2002)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité : 01/16160 14 décembre 2001 (14.12.2001) FR (74) Mandataires : COLLET, Alain etc.; Thales Intellectual Property, 13, av. du Prés. Salvador Allende, F-94117 Arcueil Cedex (FR).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: MULTIPURPOSE PROBE WITH VARIABLE SWEEP

(54) Titre : SONDE MULTIFONCTION A FLECHE VARIABLE



(57) Abstract: The invention concerns a multipurpose probe for an aircraft. The probe comprises a mobile vane (1) designed to be oriented in the axis (8) of an air stream surrounding the probe. The mobile vane (1) comprises first pressure sensing means (20, 21) for measuring the total pressure (Pt) of the air stream and second pressure sensing means (22, 23) for measuring the static pressure (Ps) of the air stream. The mobile vane (1) further comprises a profile whereof the sweep ( $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ) is variable.

(57) Abrégé : L'invention se rapporte à une sonde multifonction pour aéronef. La sonde comporte une palette mobile (1) destinée à s'orienter dans l'axe (8) d'un écoulement d'air entourant la sonde. La palette mobile (1) comprend des premiers moyens (20, 21) de prise de pression pour mesurer la pression totale (Pt) de l'écoulement et des seconds moyens (22, 23) de prise de pression pour mesurer la pression statique (Ps) de l'écoulement. La palette mobile (1) comporte en outre un profil dont la flèche ( $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ) est variable.



(81) États désignés (*national*) : BR, CA, US.

(84) États désignés (*régional*) : brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR).

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

**Publiée :**

— *sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport*

### Sonde multifonction à flèche variable

L'invention se rapporte à une sonde multifonction pour aéronef. Le pilotage de tout aéronef nécessite de connaître sa vitesse relative par rapport à l'air, c'est-à-dire au vent relatif. Cette vitesse est déterminée à l'aide de capteurs de la pression statique  $P_s$ , de la pression totale  $P_t$ , et de l'angle d'incidence  $\alpha$ .  $\alpha$  fournit la direction du vecteur de vitesse dans un système de référence, ou référentiel, lié à l'aéronef et  $(P_t - P_s)$  fournit le module de ce vecteur vitesse. Les trois paramètres aérodynamiques permettent donc de déterminer le vecteur vitesse d'un avion et, accessoirement, d'un aéronef à rotor basculant dit convertible.

Les différents capteurs de mesure de pression statique, de pression totale et d'incidence peuvent être regroupés dans une sonde dite multifonction. Cette sonde peut être mobile comme celle décrite dans le brevet français FR 2 665 539. Elle comporte alors une palette mobile autour d'un axe perpendiculaire à la peau de l'aéronef sur lequel la sonde est montée. La palette mobile s'oriente naturellement dans l'axe de l'écoulement d'air entourant l'aéronef et la position angulaire de la palette autour de l'axe de rotation donne l'angle d'incidence locale  $\alpha_{loc}$  de la sonde. Par ailleurs, le capteur de pression totale  $P_t$  est par exemple réalisé au moyen d'un tube, dit tube de Pitot, solidaire de la palette et s'ouvrant, à l'une des extrémités du tube, face à l'écoulement. L'autre extrémité du tube est sensiblement fermée. Un capteur de pression mesure la pression de l'air au fond du tube au voisinage de son extrémité fermée. Pour que la pression mesurée par ce capteur représente au mieux la pression totale  $P_t$  de l'écoulement d'air entourant l'aéronef, il est important que le tube de Pitot soit à l'extérieur d'une couche limite qui se développe dans l'écoulement d'air au voisinage immédiat de la peau de l'aéronef. A l'intérieur de la couche limite, plus on se rapproche de la peau de l'aéronef, plus une valeur mesurée de pression totale, qu'on y ferait, se rapprocherait de la valeur de la pression statique et moins il est possible de déterminer avec précision le module du vecteur vitesse de l'aéronef. L'épaisseur de la couche limite dépend de la forme de la peau de l'aéronef et surtout de la distance entre le nez de l'aéronef et la sonde. Par exemple, aux endroits habituels où on place une sonde multifonction, l'épaisseur de la couche limite est de l'ordre de 7 à 8 cm sur

un avion gros porteur. Une position optimum du tube de Pitot est donc en saillie de l'ordre de 10 cm par rapport à la peau de l'aéronef.

Par ailleurs, la sonde multifonction comporte, disposées sur les faces latérales de la palette mobile, des prises de pression permettant de mesurer la pression statique de l'écoulement d'air entourant l'aéronef. Contrairement au tube de Pitot, les prises de pression permettant de mesurer la pression statique, dites prises de pression statique, peuvent se trouver à l'intérieur de la couche limite. Néanmoins, la pression mesurée par ces prises de pression, notée  $P_s$  est différente de la pression statique locale notée  $P_{s\text{loc}}$  qui règnerait, au niveau de la peau de l'aéronef, à l'endroit où la sonde est fixée, en l'absence de la sonde, c'est-à-dire sans perturbation. Néanmoins, la pression statique locale  $P_{s\text{loc}}$  peut être calculée à partir d'un coefficient de pression  $K_p$  de la sonde. Plus précisément,  $K_p$  est fonction de la forme de la palette et de la position des prises de pression sur la palette.

Le coefficient  $K_p$  peut être défini de la façon suivante :

$$K_p = \frac{P_s - P_{s\text{loc}}}{P_{t\text{loc}} - P_{s\text{loc}}}$$

où  $P_{t\text{loc}}$  représente la pression totale mesurée au niveau des prises de pression statique.

Pour calculer la pression statique locale  $P_{s\text{loc}}$ , il est donc nécessaire de connaître le coefficient de pression  $K_p$  de la sonde, ainsi que la pression totale locale  $P_{t\text{loc}}$ . Le coefficient de pression  $K_p$  est déterminé par étalonnage en soufflerie. Au cours de cet étalonnage, la couche limite développée le long de la veine de la soufflerie est suffisamment peu épaisse pour que les prises de pression statique soient en dehors de la couche limite. Dans ce cas, la pression totale  $P_{t\text{loc}}$  régnant au niveau des prises de statique est la même que la pression  $P_t$  mesurée par le tube de Pitot.

Par contre, si les prises de pression statique se trouvent dans la couche limite, la pression totale  $P_{t\text{loc}}$ , au niveau des prises de statique, n'est pas égale à celle observée au niveau du tube de Pitot, et les étalonnages effectués en soufflerie ne sont plus utilisables.

Pour pallier ce problème, une solution est de rendre le coefficient de pression  $K_p$  nul. Ainsi, la pression mesurée donne directement la pression statique locale  $P_{s\text{loc}}$  indépendamment de la valeur de la pression totale  $P_{t\text{loc}}$  au niveau des prises de pression statique.

Un moyen efficace de réduire le coefficient de pression  $K_p$  à une valeur proche de zéro est d'augmenter la flèche de la palette. On définit la flèche  $\lambda$  de la palette comme l'angle que fait le bord d'attaque de la palette avec une direction perpendiculaire à la peau de l'aéronef, autrement dit avec l'axe de rotation de la palette. En effet, en supposant l'écoulement incompressible et le fluide, formant l'écoulement, parfait le coefficient de pression  $K_p$  peut s'exprimer par l'équation suivante :

$$K_p = 1 - \left( \frac{V}{V_\infty} \right)^2$$

où  $V$  représente la vitesse de l'écoulement au niveau des prises de pression et où  $V_\infty$  représente la vitesse de l'écoulement en amont de la sonde. L'équation précédente définit le coefficient de la pression  $K_p$  pour une flèche nulle. Lorsque le bord d'attaque de la palette est incliné d'une flèche  $\lambda$ , le coefficient  $K_p$  s'exprime de la façon suivante :

$$K_p = 1 - \frac{V^2 + (V_\infty \sin \lambda)^2}{\left( \frac{V_\infty}{\cos \lambda} \right)^2}$$

$$15 \quad \text{d'où } K_p = \left[ 1 - \left( \frac{V}{V_\infty} \right)^2 \right] \times (\cos \lambda)^2$$

On en déduit que plus la flèche  $\lambda$  est importante, plus le coefficient de pression  $K_p$  est proche de zéro. Autrement dit, plus le bord d'attaque de la palette est incliné par rapport à son axe de rotation, moins la palette perturbe l'écoulement.

Néanmoins, en considérant l'autre contrainte précédemment énoncée, à savoir une saillie suffisante de la palette pour supporter le tube de Pitot hors de la couche limite, on risquerait d'obtenir une palette dont la longueur du bord d'attaque serait très importante. Il en résulterait une palette d'un encombrement important.

L'invention a pour but de pallier ce problème en proposant une sonde dont la saillie est suffisante, dont le coefficient de pression  $K_p$  des prises de pression statique est voisin de zéro et dont l'encombrement est réduit.

Pour atteindre ce but, l'invention a pour objet une sonde multifonction pour aéronef, comportant une palette mobile destinée à

s'orienter dans l'axe d'un écoulement d'air entourant la sonde, la palette mobile comprenant des premiers moyens de prise de pression pour mesurer la pression totale de l'écoulement, des seconds moyens de prise de pression pour mesurer la pression statique de l'écoulement, caractérisée en ce que la palette mobile comporte un profil dont la flèche est variable.

Les sondes multifonction montées sur aéronef sont amenées à fonctionner dans des conditions climatiques extrêmes et pour éviter la formation de givre sur les parois extérieures de la sonde ou même à l'intérieur d'orifices tels que le tube de Pitot ou les prises de pression statique, la sonde comporte des moyens pour la réchauffer, moyens formés par exemple d'une résistance chauffante disposée à l'intérieur de la sonde. On comprend que, plus l'encombrement de la sonde est important, plus la puissance électrique susceptible d'être dissipée dans la résistance chauffante devra être grande. En réduisant l'encombrement de la sonde, on réduit également la puissance de réchauffage à mettre en œuvre pour dégivrer la sonde.

Un autre avantage lié à la réduction d'encombrement, d'une sonde conforme à l'invention, est la réduction de l'inertie de la palette dans son mouvement de rotation pour s'aligner avec l'axe de l'écoulement d'air l'entourant. Cette moindre inertie permet une meilleure sensibilité dans la mesure d'incidence locale que donne la position angulaire de la palette. De plus, lorsque pour améliorer la mesure d'incidence, on asservit le mouvement de rotation de la palette autour de son axe en fonction de mesure de pression d'incidence réalisée au voisinage du bord d'attaque de la palette, réduire l'inertie de la palette permet de réduire la puissance nécessaire à la motorisation de l'asservissement de la sonde. Pour plus de détails concernant l'asservissement du mouvement de rotation de la palette, on peut se reporter au brevet français publié sous le n° FR 2 665 539.

L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages apparaîtront à la lecture de la description détaillée d'un mode de réalisation de l'invention, description illustrée par le dessin joint dans lequel :

- la figure 1 représente une sonde multifonction dont la flèche est importante au voisinage du tube de Pitot ;

- la figure 2 représente une sonde multifonction dont la flèche est importante au voisinage de la peau de l'aéronef sur laquelle elle est montée.

Les sondes représentées figures 1 et 2 comportent une palette mobile 1 en rotation autour d'un axe 2. La palette 1 comporte une aile 3 possédant un plan de symétrie, parallèle au plan de la figure et séparant l'intrados de l'extrados. Le profil de l'aile 3 perpendiculairement à son bord d'attaque 4 est par exemple du type OOZT du N.A.C.A. Il est bien entendu que d'autres formes d'ailes peuvent être utilisées pour mettre en œuvre l'invention. La palette 1 comporte également un arbre 5 d'axe 2 qui pénètre à l'intérieur de la peau 6 d'un aéronef. L'arbre 5 est mobile en rotation par rapport à l'aéronef par exemple au moyen d'un palier 7 à roulement.

Du fait la forme de l'aile 3, la palette 1 s'oriente naturellement dans l'axe de l'écoulement d'air entourant la palette mobile 1. L'axe de l'écoulement est matérialisé par la flèche 8 représenté sur la figure 1.

Les sondes comportent en outre des moyens pour mesurer la pression totale  $P_t$  et la pression statique  $P_s$  de l'écoulement d'air ainsi que l'incidence  $i$  de l'aéronef.

Les moyens pour mesurer la pression totale comportent par exemple une prise de pression totale  $P_t$  comprenant un canal 20 s'ouvrant par un orifice 21 faisant sensiblement face à l'écoulement d'air d'axe 8. Le canal 20 est mieux connu sous le nom de tube de Pitot.

Les moyens pour mesurer la pression statique  $P_s$  comportent par exemple deux prises de pression statique 22 et 23, située chacune sur une des faces de la palette mobile 1. Sur la figure 1 seule la prise de pression 22 est visible. La prise de pression 23 est placée sur la face invisible de la palette mobile 1, de façon sensiblement symétrique à la prise de pression 22 par rapport au plan de symétrie de l'aile 3. Ce plan de symétrie est parallèle au plan de la figure 1. Chaque prise de pression 22 et 23 peut comporter plusieurs orifices, trois sont représentés sur la figure 1, afin notamment de limiter la section de chaque orifice pour moins perturber l'écoulement d'air entourant la palette mobile 1 ou encore pour être en mesure de réaliser la mesure de pression même si l'un des orifices venait à être obstrué. Les deux prises de pression statiques 22 et 23 sont en communication avec une

chambre située à l'intérieur de la palette afin de moyenner la pression entre les deux prises 22 et 23.

Les moyens pour mesurer l'incidence  $\alpha$  de l'aéronef comportent par exemple deux prises de pression d'incidence 24 et 25 situées, comme  
5 pour les prises de pression statique 22 et 23, sur une des faces de la palette également de façon sensiblement symétrique par rapport au plan de symétrie de l'aile 3. Les prises de pression d'incidence 24 et 25 ne sont pas en communication et c'est la différence entre les pressions régnant au niveau de chaque prise 24 et 25 qui permet de déterminer l'incidence exacte  
10 de la palette mobile 1 et par conséquent celle de l'aéronef. Afin d'améliorer la sensibilité de la mesure d'incidence, on peut placer les prises de pression 24 et 25 au voisinage immédiat du bord d'attaque 4 de la palette mobile 1.

L'utilisation des informations issues des différentes prises de pression totale, statique et d'incidence est par exemple décrite dans le  
15 brevet français FR 2 665 539. Ce brevet décrit notamment l'asservissement de la position angulaire de la palette mobile 1 autour de son axe 2 afin que l'aile 3 de la palette mobile 1 soit alignée au mieux dans l'axe 8 de l'écoulement d'air.

Dans les deux modes de réalisation de l'invention représentés sur  
20 les figures 1 et 2, le profil de la palette mobile a une flèche variable. On définit la flèche de la palette mobile comme l'angle que fait le bord d'attaque de la palette mobile par rapport à l'axe 2 de rotation de la palette mobile. Plus précisément, la flèche a une première valeur sur une première partie du profil et une seconde valeur sur une seconde partie du profil. En d'autres  
25 termes, le bord d'attaque de la palette forme une ligne brisée. Dans la première partie du profil, c'est-à-dire au voisinage des prises de pression d'incidence, la valeur  $\lambda_1$  de la flèche est inférieure à la valeur  $\lambda_2$  de la flèche dans la seconde partie du profil située au voisinage des prises de pression statique 22 et 23. Plus précisément, en amont des prises de pression  
30 d'incidence, la flèche a une valeur constante  $\lambda_2$  et en amont des prises de pression statique, la flèche a une valeur constante  $\lambda_1$ . On entend par amont des prises de pression d'incidence ou statique la partie du profil de la palette mobile susceptible d'influencer aérodynamiquement les prises de pression d'incidence, ou respectivement statique, lorsque la palette mobile



est soumise à un écoulement d'air dont la direction est sensiblement perpendiculaire à l'axe 2.

Dans un premier mode de réalisation de l'invention, mode représenté sur la figure 1, la première partie 26 du profil est plus près de la  
5 peau 6 de l'aéronef que la seconde partie 27 du profil. Cette variante permet d'éloigner au maximum les prises de pression statiques 22 et 23 de la peau 6 de l'aéronef. Ainsi la pression totale locale  $P_{tloc}$  au niveau des prises de pression statiques 22 et 23 est la plus proche possible de la pression totale  $P_t$  mesurée par le tube de Pitot 20. Cette disposition présente un intérêt car  
10 le coefficient de pression  $K_p$  des prises de pression statiques 22 et 23 dépend aussi de la vitesse de l'aéronef. Dans la pratique, la flèche  $\lambda_2$  permet de réduire l'amplitude de l'évolution du coefficient de pression  $K_p$  en fonction de la vitesse de l'aéronef. Ainsi, si  $P_{tloc}$  est égal ou sensiblement égal à  $P_t$ , la mesure de pression  $P_s$  réalisé au niveau des prises de pression  
15 statiques 22 et 23 permet de calculer facilement la pression statique locale  $P_{sloc}$  à l'endroit où la sonde est positionnée sur la peau 6 de l'aéronef.

Avantageusement, la valeur  $\lambda_2$  de flèche est définie de façon à ce qu'une valeur  $K_p$  du coefficient de pression des prises de pression statiques soit sensiblement nulle pour une plage de vitesse donnée de l'écoulement  
20 d'air, la plage contenant notamment la vitesse de croisière de l'aéronef.

Dans un second mode de réalisation de l'invention, mode représenté sur la figure 2, la première partie 28 du profil est plus éloignée de la peau 6 de l'aéronef que la seconde partie 29 du profil. Cette variante permet de réduire encore l'inertie de la palette.

**REVENDICATIONS**

1. Sonde multifonction pour aéronef, comportant une palette  
5 mobile (1) destinée à s'orienter dans l'axe (8) d'un écoulement d'air  
entourant la sonde, la palette mobile (1) comprenant des premiers moyens  
(20, 21) de prise de pression pour mesurer la pression totale ( $P_t$ ) de  
l'écoulement, des seconds moyens (22, 23) de prise de pression pour  
mesurer la pression statique ( $P_s$ ) de l'écoulement, caractérisée en ce que la  
10 palette mobile (1) comporte un profil dont la flèche ( $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ) est variable, en  
ce que la flèche a une première valeur ( $\lambda_1$ ) sur une première partie (26, 28)  
du profil de la palette (1), en ce que la flèche a une seconde valeur ( $\lambda_2$ ) sur  
une seconde partie (27, 29) du profil de la palette au voisinage des seconds  
moyens (22, 23) de prise de pression ( $P_s$ ) et en ce que la première valeur  
15 ( $\lambda_1$ ) est inférieure à la seconde valeur ( $\lambda_2$ ).

2. Sonde multifonction selon la revendication 1, caractérisée en  
ce qu'en amont des seconds moyens (22, 23) de prise de pression ( $P_s$ ), la  
flèche a une valeur constante ( $\lambda_2$ ).

20

3. Sonde multifonction selon l'une des revendications  
précédentes, caractérisée en ce qu'elle comporte des troisièmes moyens  
(24, 25) de prise de pression destinés à mesurer l'incidence ( $\alpha$ ) de la palette  
mobile (1) par rapport à l'écoulement d'air, et en ce qu'en amont des  
25 troisièmes moyens (24, 25) de prise de pression ( $\alpha$ ), la flèche a une valeur  
constante ( $\lambda_1$ ).

4. Sonde multifonction selon l'une des revendications  
précédentes, caractérisée en ce qu'elle est disposée sur la peau (6) de  
30 l'aéronef, en ce que les premiers moyens (20, 21) de prise de pression ( $P_t$ )  
sont situés hors d'une couche limite développée dans l'écoulement au  
voisinage de la peau (6) de l'aéronef.

5. Sonde multifonction selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'elle est disposée sur la peau (6) de l'aéronef, et en ce que la première partie (26) du profil est plus près de la peau (6) de l'aéronef que la seconde partie (27) du profil.

5

6. Sonde multifonction selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que la seconde valeur ( $\lambda_2$ ) de flèche est définie de façon à ce qu'une valeur ( $K_p$ ) du coefficient de pression des seconds moyens (22, 23) de prise de pression ( $P_s$ ) soit sensiblement nulle

10 pour une vitesse donnée de l'écoulement d'air.

